

陸域からの排出インベントリ作成と流出抑制技術開発に関する共同研究報告書

環境中の点源（下水道・浄化槽・廃棄物処理場）及び面源（市街地・田畑）における
マイクロプラスチック調査マニュアル

令和8年3月

国立大学法人京都大学大学院 地球環境学堂

准教授 田中 周平

教授 藤原 拓

国立大学法人京都大学大学院 工学研究科

教授 高岡 昌輝

准教授 大下 和徹

国立大学法人岐阜大学 工学部

准教授 鈴木 裕識

国立大学法人熊本大学大学院 先端科学研究部

准教授 中田 晴彦

国立研究開発法人国立環境研究所 資源循環領域

主幹研究員 鈴木 剛

国立大学法人東京大学 環境安全研究センター

教授 中島 典之

特任研究員 Lee Soyoung

国立大学法人東京大学大学院 工学系研究科

准教授 飛野 智宏

国立大学法人豊橋技術科学大学大学院 工学研究科

教授 井上 隆信

教授 横田久里子

公立大学法人滋賀県立大学 環境科学部

教授 須戸 幹

いであ株式会社

大野 順通

吉里 尚子

Tan Shih Wei

目次

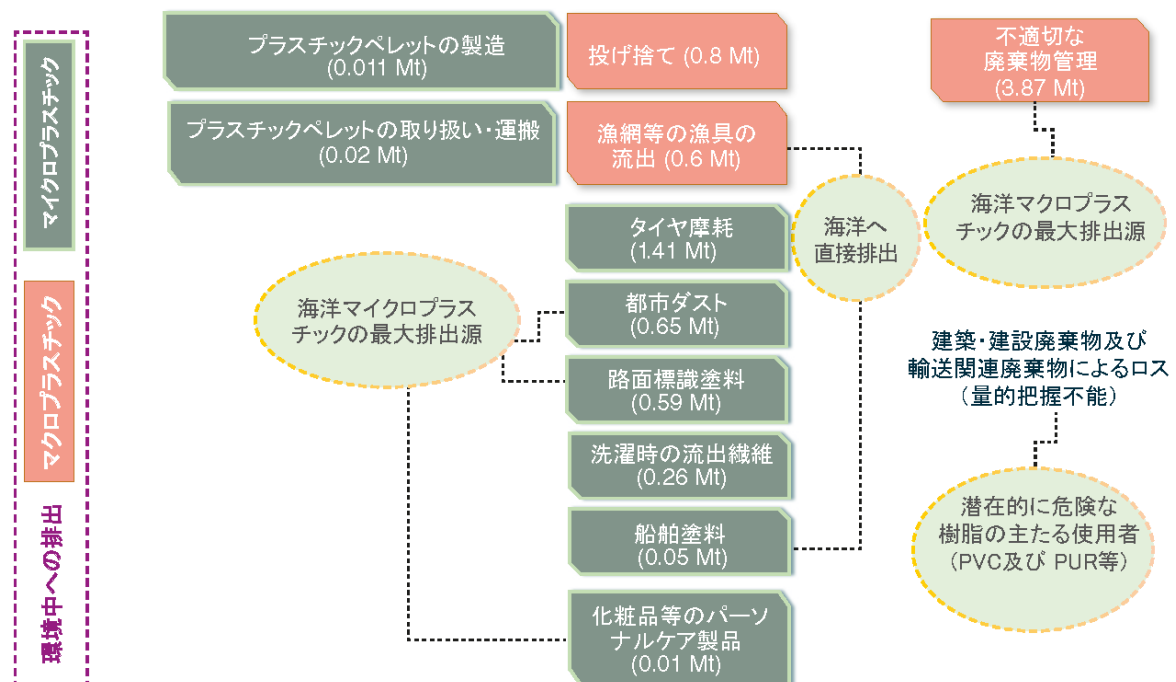
1	はじめに.....	1
2	対象.....	4
3	試料採取の方法.....	6
3.1	点源.....	6
3.2	面源.....	11
3.2.1	市街地.....	11
3.2.2	水田.....	13
3.2.3	畑地.....	17
4	室内分析の方法.....	19
5	報告.....	24
6	排出インベントリの算出方法の概要.....	25
6.1	面源.....	25
6.2	点源.....	27
6.2.1	市街地.....	27
6.2.2	水田.....	27
6.2.3	畑地.....	28
7	おわりに.....	29

1 はじめに

プラスチックは様々な形をつくることができ、長くその形を維持することから、様々な用途で使用されている。他方で、環境中へ排出されたプラスチックごみは、分解されにくい特徴から、長期にわたって環境中に存在し続ける。河川に排出され海域へと運ばれたプラスチックごみは、海域に直接排出されたプラスチックとともに増え続け、このままでは、人々の生活や生態系に甚大な影響を及ぼすレベルに達することが懸念される。

海洋のプラスチックごみを回収することは容易なことではなく、プラスチックごみの削減に向けては、排出量をより一層削減することが求められる。2019年6月に開催されたG20大阪サミットで日本は、2050年までに海洋プラスチックごみによる追加的な汚染をゼロにまで削減することを目指す「大阪ブルー・オーシャン・ビジョン」を提案し、首脳間で共有されている。

海洋へのプラスチックごみの排出量について、様々な機関及び研究者が推計している。UNEP (2018)¹は、マクロプラスチックとして3種類の排出源（不適切な廃棄物管理、投げ捨て及び漁網等の漁具の流出）、マイクロプラスチックとして8種類の排出源（タイヤ摩耗、都市ダスト、路面標識塗料、洗濯時の流出繊維、船舶塗料、化粧品等のパーソナルケア製品並びにプラスチックペレットの製造及び取り扱い・運搬）を設定し、2015年の統計データから、全世界でプラスチックごみが1年間に828万トン排出されていると推計している（図1を参照）。このうち、日本からは、全世界で排出されるマクロプラスチック527万トンの1%（5万トンに相当）を、マイクロプラスチック301万トンの2%（6万トンに相当）をそれぞれ排出しているとしている。



備考：UNEP (2018), Mapping of global plastics value chain and plastics losses to the environment, P. 10 を意訳

図1 UNEP (2018)によるプラスチックごみの排出量推計結果

¹ UNEP (2018), Mapping of global plastics value chain and plastics losses to the environment

他方で、Jambeck et al. (2015)²は、世界各国のごみの発生量並びに管理されていないごみの割合、投げ捨てごみの割合、プラスチックごみの割合及びごみの海洋への流出割合から、海洋へのごみの排出量が1年間当たり478万トンから1,275万トンで、このうちの2万トンから6万トンが日本から排出されていると推計している。

上記のとおり、Jambeck et al. (2015)による推計結果では、最小値に対して最大値が3倍程度と幅が大きく、我が国の推計値は、UNEP (2018)による推計値と比べて最大値であっても半分程度である。このように、プラスチックごみの排出量は、その推計方法や推計に用いる基礎データによって大きく変化する。これは、多くの推計が人口統計や廃棄物管理データを用いた「トップダウンアプローチ」に依存しており、実際の排出源ごとの挙動や、地域固有の排出実態が十分に反映されていないことに起因する。

プラスチックは様々な用途で使用され、その発生源は多岐にわたる。より一層の排出量を削減するためには、多岐にわたる排出源それぞれの排出インベントリを把握し、その特徴を踏まえて効果的かつ効率的な施策を実施する必要がある。マイクロプラスチックなどの効率的な削減策を立案するためには、不確実な全体量の推計に留まらず、下水道や浄化槽などの「点源」、および市街地や農地などの「面源」から、いつ、どこで、どの程度のマイクロプラスチックが発生しているのかを精度高く把握する「ボトムアップアプローチ」が不可欠である。特にわが国においては、高度な水処理インフラや特有の農業形態（被覆肥料の使用等）を有しており、これら実態に即した実測データの積み上げが、科学的根拠に基づく政策立案の鍵となる。

具体的な課題として、環境省(2025)³は、我が国からのプラスチックごみの海洋への流出量から環境中での回収量を差し引いた正味の流出量が、発生源・品目別に積み上げた結果として1.3万～3.1万トンと推計している。この推計では、下水道終末処理場及び廃棄物処理場などの点源から排出されるプラスチックごみについて、洗剤等、製品、船舶塗料及び人工芝のみを対象としているが、その他を由来として家庭及び事業場等から点源として水域へと排出されるプラスチックごみの量が推計に影響を及ぼす規模でないことの確認をすべきであろう。また、タイヤ摩耗粉塵、ブレーキ摩耗及び道路標識材として道路から海洋へ流出するものが0.9万～1.4万トンと流出量の大きな割合を占めているが、国外又は国内であっても限られた条件での調査で得られた結果をもとに推計した結果であるなど、より実態に即したデータの蓄積と実測データに基づく検証が求められるところである。農地からは、被覆肥料、肥料添加物、農薬用マイクカプセル及び被覆種子として意図的に環境中へ流出するプラスチックが高位で推計すると0.2万トン程度とされているが、この他に農地からは農業資材が劣化するなどして降雨とともに非意図的に流出することが想定され、農地が多い地域では、そのインベントリを精緻化して対策を検討することが望ましい。

本書は、環境省環境研究総合推進費（S-19）の研究成果に基づき、点源・面源の両面からマイクロプラスチックの排出実態を把握するための標準的な現地調査手法を提示するものである。本書では、粒径1mm以上のマイクロプラスチックを主たる対象とし、試料採取から分析、さらには調査結果に基づく排出インベントリの算出方法までを体系的にまとめた。本書が、自治体や研究者による全国的な実態調査の指針となり、精度精度の高い排出インベントリの構築、ひいては効果的な流出抑制技術の開発に寄与することを目的とする。本書の作成は、環境総合研究推進費「S-

² Jambeck et al., (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean, *Science*, 347, p. 768-771.

³ 環境省 海洋環境課 海洋プラスチック汚染対策室 (2025), 令和6年度検討結果 日本の海洋プラスチックごみ流出量の推計

19 プラスチックの持続可能な資源循環と海洋流出制御に向けたシステム構築に関する総合的研究」のなかで、テーマ3「陸域からの排出インベントリ作成と流出抑制技術開発」（以降、「S-19-3」という。）のS-19-3のサブテーマ1「点源からのマイクロプラスチック排出量の評価と流出抑制技術の開発」（以降、「S-19-3(1)」という。）及びサブテーマ2「面源からのプラスチックごみ排出量の評価」（以降、「S-19-3(2)」という。）実施された調査方法を基にとりまとめている。

なお、本書で対象とした排出源以外からの排出インベントリを推計するにあたっては、河川の流下量と、本書で対象とした排出源からのインベントリとの差分を確認することで、必要に応じてその他の排出源について本書で示した調査方法を参考に行うことを提案する。河川の流下量を調査するにあたり、「河川・湖沼マイクロプラスチック調査ガイドライン」（令和7年7月、環境省水・大気環境局海洋環境課海洋プラスチック汚染対策室）（以下、「河川・湖沼ガイドライン」と言う。）を参照されたい。

また、本書で対象とした点源からの排水を含む水中のマイクロプラスチックのサンプリング方法については、ISO 5667-27, Water quality - Sampling - Part 27: Guidance on sampling for microplastics in water が2025年3月に発刊されている。本書で示す方法は、ISO 5667-27で示された方法と相反するものではなく、本書では点源から流出する粒径が1 mm以上のマイクロプラスチックに焦点を当ててより具体的な調査方法を示している。一方で、ISO 5667-27には品質を管理するために推奨される事項などがより多く記載されていることから、調査実施に当たっては合わせて参考とされたい。

2 対象

(1) 排出源等

1) 点源

点源から排出されるプラスチックごみのうち、本書では、S-19-3(1)において実施された以下の排出源の調査方法を基に調査方法を提示している。

- ①下水道終末処理場
- ②浄化槽
- ③廃棄物処理施設

これら排出源は、全国的に広く存在し、流入と流出及び施設内での処理に伴うプラスチックの除去プロセスに類似性がみられることから、本書で示した方法や S-19-3(1)で得られた知見がそのまま活用できる。他方で、個々の事業場等から直接、公共用水域へと排出されるプラスチックごみについては、SS などによる間接的な規制は課せられているものの、直接的な規制がないことから、施設ごとに排出量は異なるため、個別の調査が必要とされるが、本書で示した方法が参考となると考える。

2) 面源

面源としての流出特性は、市街地、農地及び森林に大別される。さらに農地からのプラスチックごみの流出特性は、水田と畑地で大きく異なる。他方で、森林からのプラスチックごみの流出量は市街地や農地と比べて極めて少ないと言える。

このため、本書では、S-19-3(2)において実施された以下の排出源の調査方法を基に調査方法を提示している。

- ①市街地
- ②水田
- ③畑地

(2) マイクロプラスチック

1) 大きさ

プラスチックごみのうち、粒径が 5mm 未満のものをマイクロプラスチックとして分類し、本書では大きさが 1mm 以上 5mm 未満の粒子を主な対象とする。また、各種排出源等の特性から、必要に応じて 5mm 以上の粒子も対象に加える。ここで、本書で記載する粒子の粒径は、特に断りが無い場合には、Feret's diameter⁴として測定される粒子径の最大値（長径）とする。

なお、粒子の大きさが 1mm 未満の粒子については、試料採取に用いる目開きが 0.3mm 程度の網を通過してしまう割合が多くなる。また、粒径が 1mm 未満の粒子では、分析精度が低下することが指摘されている。このため、本書においては対象としていない。ただし、より目開きが細かい網を用いることなどにより粒子の大きさが 1mm 未満の粒子について調査を行うことを否定するものではない。また、繊維状の粒子については、粒子の長さが 1mm 以上であっても、目開きが 0.3mm 程度の網では過小評価となるため、本書においては対象としていない。繊維状粒子の測定方法は、「下水中に含まれるマイクロプラスチックの検出と挙動に関する共同研究報

⁴ Feret's diameter は粒子を二本の平行な面で挟んだときの距離として定義される。

告書、下水中の繊維状マイクロプラスチックの分析マニュアル」(令和4年6月、国立大学法人京都大学・国立研究開発法人土木研究所)(以下、「繊維状マニュアル」という。)を参照されたい。

なお、粒径が5mm以上のものを含むものについては、単にプラスチックごみと本書では記載している。

2) 材質

本書では、JIS.K.6900-1994で定義される「必須の構成成分として高重合体を含みかつ完成製品への加工のある段階で流れによって形を与え得る材料」にタイヤゴムを加えたものをプラスチックとしている。

なお、ゴム、塗料及び接着剤については、環境への排出する粒子の大半が粒径1mm未満であると想定されることから、大きさが1mm以上5mm未満の粒子の室内分析での対象からは除外する。また、高分子吸収剤は、水中で不定形の状態となり、粒子状のマイクロプラスチックと同時に試料採取及び室内分析を行うことが困難であることから、本書では対象から除外する。ただし、除外したこれらの物質を含めて調査することを否定するものではない。

3) 単位

現地調査で得られる水中のマイクロプラスチックの量は、単位水量(1m³)あたりの個数(particles)又は重量(g)で整理し、単位としては”particles/m³”又は”g/m³”とする。

3 試料採取の方法

3.1 点源

(1) 概要

点源からの放流水を採取ネットですろ過するとともにろ過した水量を測定する。採取ネットのろ過残渣を容器に回収し、これを室内分析に供する試料とする。

(2) 採取機材

試料を採取するために必要な機材として主なものとしては、採取用ネット、採水器具、流量計及び試料容器がある。これら機材は、極力プラスチック製品は避けるとともに、コンタミネーションを防止するため、試料採取前に入念に洗浄し、布製のカバー又はアルミホイルなどで覆い保管及び運搬する。

1) 採取用ネット

採取用ネットの例を、図 2 に示す。採取ネットは網地と網地を固定する台座とで構成され、ろ過する際に水が脇から漏れないよう、網地は台座にたわませて固定している。

網地は、その調査目的に応じて適切な目開きを選定することとなるが、粒径が 1mm 以上 5mm 未満のマイクロプラスチックのインベントリを算定する目的においては、目開きが 0.3mm 程度のものを用いる。網地の材質として、図 2 の例では、ナイロン製のものを用いている。

台座は、ネットが目詰まりすることで荷重がかかることを考慮し、台座自体が適切な強度を有するとともに網地が強固に固定できるものとする。また、ろ過した水の排水及び水量測定を考慮した構造とすること。

放流管などで直接ろ水し、そのろ水量を測定する場合にあっては、プランクトンネットを用いることができる。プランクトンネットの仕様及び試料の採取方法は、河川・湖沼ガイドラインを参照のこと。

2) 採水機材

放流水の採水は、携行式の取水ポンプを使用することが一般的である。携行式の取水ポンプの例を図 3 に示す。ポンプで汲み上げた水を直接採取ネットですろ過する場合には、ポンプの吐出水量が多いと、採取ネットに留まるべき粒子の一部をその水圧で押し出してしまう恐れがあることから、適切な吐出水量の取水ポンプを選定すること。

処理施設等への流入水についても調査するなど、懸濁物質が多く、マイクロプラスチックの密度が大きい水を採水する場合には、バケツ（および綿ロープ）を使用することが一般的である。バケツは、コンタミネーションを防止するため金属製のものを用いることが望ましい。



図 2 採取ネットの例



図 3 携行式の取水ポンプの例

3) ろ水量の測定機材

ろ水量は、取水ポンプに接続した流量計により測定する。流量計は、その測定範囲を確認し、ポンプの吐出量を正確に測定できるものを使用すること。

この他、ろ水を計量容器で受けて、その量を測る方法がある。計量容器の容量が設定した水量に満たず、ろ過した水を計量容器に受けることで測定する場合には、ろ過途中で速やかに計量容器を交換できるよう複数の計量容器を用意するとよい。

4) 試料容器

試料容器は、図 4 に示すような金属製又はガラス製などのプラスチック以外の材質のものをを用いることが望ましい。やむを得ずプラスチック製の容器を用いる場合には、極力新しいものを使用し、使用前に入念に洗浄し、さらに少量の汚染のない水で洗い流して、その水にプラスチック候補粒子が存在していないかを確認するとともに、試料容器の材質を FTIR 等で確認しておくこと。また、試料容器に試料番号、試料採取地点及び採取時刻を記載できるよう、ラベルを予め用意しておくこと。

ろ過した残渣を現地で回収する場合の試料容器は、残渣がもれなく回収できるよう容器の口が広めのもので、採取ネットから少量の水で洗い流すことで残渣を回収することから 1L 又はそれ以上の容積のものをを用いる。

ろ過した残渣を採取ネットごと分析室へ持ち込む場合には、網地が収納できる十分な容積の容器を用意すること。



図 4 試料容器の例

(3) 採水位置

放流水の採水は、できるだけ放流先に近い位置で採取することが望ましい。

流れが緩やかな状態では、マイクロプラスチックのうち、比重が 1 より小さいポリエチレン、ポリプロピレン及び発泡スチレンなどは水深が浅い箇所密度がより高く、比重が 1 より大きい塩化ビニル、ポリエチレンテレフタレート (PET) 及びポリメタクリル酸メチル樹脂等のアクリル樹脂などは水深が深い箇所密度がより高くなる。地点選定ではよく攪拌された状態の試料が採取できる位置であるか留意すること。

なお、合流式の下水道終末処理場で降雨時に調査する場合には、降雨初期の流入水を雨天時貯留池に貯留するなど、下水道終末処理場内での流路が晴天時と異なる施設もあることから、施設の処理系統をよく確認したうえで採取位置を決定すること。

(4) 採取頻度

下水道終末処理場では、一般的に、朝及び夜に生活排水の割合が多くなり、昼間に事業所からの排水の割合が多くなるなど、その性状が時間帯によって変化する。また、平日と休日とでも、事業所からの排水の割合が変化する。さらに、処理区域面積や供用人口が異なる場合、流入水が下水道終末処理場へ到達するまでの時間に遅れが生じるため、流入水量や水質の時間的変動にも影響を与える。そのため、下水道終末処理場が管理のために取得している水質検査データを事前

に確認し、調査目的に鑑みて適切な頻度で試料を採取し、それぞれ個別に又はコンポジットした試料を分析することが望ましい。合流式の下水道終末処理場で降雨時に調査する場合には、1 時間毎とするなど、多頻度で試料を採取し、流入及び流出の水量の変化が大きい時間帯ではそれぞれの試料を個別に分析し、水量の変化が小さい時間帯にあっては複数の時間帯で得られた試料をコンポジットして分析する。

廃棄物処理施設においては、施設管理者への聞き取りなどにより、その施設の稼働状況を把握し、施設としての平均的なインベントリが得られるよう、稼働状況に応じた適切な頻度を設定する。一般的には廃棄物の搬入によるプラットホームの床洗浄水、パッカー車の洗浄水など施設の稼働状況により変動が大きいため、等時間間隔で、24 時間のコンポジットサンプルとすることが望ましい。

(5) 採水量

採水量は、試料に含まれるマイクロプラスチックが 100 個程度又はそれ以上となる量を目安とする。

マイクロプラスチックを試料採取するにあたっては、採水量が少なく、採取した粒子数が少なくなるほど、結果の誤差が大きくなる。他方で、採取されるマイクロプラスチックが多すぎると、粒子それぞれを個別にサイズ測定し、材質を同定する室内分析では、その作業量が膨大となる。

国内の下水道終末処理場では、S-19-3(1)で実施された現調査結果によると、粒径が 1mm 以上 5mm 未満のマイクロプラスチックの粒子数密度が、放流水では 10 particles/m³ のオーダーあった。

(6) 採取方法

1) 事前準備

調査する処理施設等の管理者と、調査の目的、調査方法並びに調査結果の活用及び公表の方法に関して調整する。処理のプロセス、配管の状況及び試料採取時に想定される状況等から、調査の目的に鑑みて、適切な採水位置を設定し、現地の状況を予め確認する。

降雨時の調査では、調査実施日が直前とならないと確定できないことについて処理施設等の管理者の理解を求め、調査者は週間天気予報に基づく調査実施の可能性、前日の天気予報に基づく調査実施の判断などを施設管理者へ適宜連絡する。

試料採取の前日までに使用する全ての機材が正常な状態であるか確認し、入念に洗浄してから、プラスチック粒子の汚染が生じない状態で保管しておく。

2) 試料の採取

試料採取に当たっては、安全管理を徹底すること。特に、降雨時には施設の床面が滑りやすく、転倒及び転落等の事故が生じやすくなることを念頭に作業すること。

(a) ブランク試料の採取

現地調査を実施する処理施設等の場内にて、マイクロプラスチックを分析する試料を採取する前に、ブランク試験を実施するための試料を採取する。ブランク試験のための試料は、マイクロプラスチックを分析する試料の採取に使用する機材で、ろ過した後に行うろ過残渣を回収する作業だけを試料採取時と同様に行い、これにより得られた試料を分析する。

(b) 採水

ポンプでの採水では、最初にポンプで汲み上げた下水を採取ネットには通水せずに汲み上げた地点の下流へ返送することでポンプ及びポンプ配管内を共洗いし、その後に予め決めた採水量を汲み上げる（図 5 左図参照）。バケツでの採水では、採水前にバケツを採水先の下水で共洗いした後に、採水量として予め決めた量だけ汲み上げる（図 5 右図参照）。

採水作業は、周辺の塗料、緩衝材及びその他のプラスチック製品が汲み上げる水に混入しないよう留意しながら行うこと。また、複数の地点で採水する場合には、汚染防止の観点からマイクロプラスチックの密度が低いと想定される地点から順に行うことが望ましい。

なお、浄化槽では、放流側の点検口から消毒槽等に貯留されている水を放流水として扱い、ポンプで汲み上げて目的水量を通水、ろ過する。貯留分では目的水量に足りない場合、ろ水をそのまま流入側の点検口から返送し、処理水を消毒槽等に押し出すことで採水量を確保する。ただし、一定量以上返送した場合、押し出された処理水が本来の水質とならないことに留意が必要である。



図 5 採水及びろ過状況（左図：ポンプ採水、右図：バケツ採水）

(c) ろ過

汲み上げた下水を採取ネットに流してろ過する。採取ネットは、使用前にエアダスター等を用いて付着物を吹き飛ばすのが望ましい。

ネットに流す速度が早いと、その水圧で採取ネットに留まるべき粒子の一部をネット外へ押し出してしまう恐れがあることから、適切な速度で流すこと。

懸濁物質が多く、目詰まりによりろ過を継続することが困難であると判断された場合は、ろ過を中断し、採取ネットを交換する又は採取ネット上のろ過残渣を試料容器に回収してから、ろ過を再開することで、予め決めた採水量を確保すること。

予め決めた採水量をろ過したら、ろ過した残渣を採取ネットごと分析室へ持ち込む場合には、採取ネットを試料容器に速やかに入れる。採取ネット上のろ過残渣だけを回収する場合には、採取ネットの裏側から汚染のない水で試料容器にろ過残渣を流し込む。ろ過残渣の回収は、試料容器にロートを刺して、ロート上で行うと容易である。

(d) ろ水量の測定

バケツで採取した試料のろ水量の測定は、計量容器で、ろ水するのに必要な量を予め測定する又はろ過した水を計量容器で受けて試料採取に必要な水量が溜まった時点でろ過を終了することにより行う。

放流処理水のろ水量の測定は、ポンプで汲み上げた量又はろ水して放流管に返送する量を、配管に取付けた流量計で測定する。

3) 試料の保管、運搬

試料採取後は、速やかに試料容器のラベルに試料番号、試料採取地点及び採取時刻を記載し、運搬中の破損及び漏れを防止するため、適切な緩衝材で試料容器を保護して運搬用容器に入れる。運搬容器は、運搬中に試料の腐敗が進行してもプラスチック候補粒子の密度が変化することはないが、実験室での試料の取扱いがより容易になるよう、氷冷したクーラーボックスを使用するとよい。

実験室へ搬入後は、直ちに室内分析の作業に着手するか、速やかに着手できない場合にあっては試料を冷蔵で保管する。

4) 現地での記録

試料採取ごとに、採取地点名、採取時刻、ろ水量及び試料番号を野帳に記録する。加えて、調査の目的から必要に応じて、採水した下水等の水温及び気温並びに現地で観測が可能な電気伝導度及び pH 等の水質を記録する。

また、後日に実施状況が確認できるよう、試料採取地点の遠景及び近景、採水先の下水の状況、各試料採取工程での実施状況並びに採取した試料の状況を、写真として記録しておく。さらに、調査対象となる処理施設等の管理者と連絡を取り、調査当日の排水量や水質状況についても確認しておくことが望ましい。

3.2 面源

3.2.1 市街地

UNEP (2018)によれば、全世界で環境中に排出されるプラスチックは 829 万トン/年で、このうち市街地等の道路で発生するタイヤ摩耗粒子が 141 万トン/年であると報告されている。また、環境省(2025)では、タイヤ摩耗粉塵、ブレーキ摩耗及び道路標識材として道路から海洋へ流出するものが 0.9 万～1.4 万トンで、タイヤ摩耗粉塵がその多くを占めていることが報告されている。ただし、この環境省が推計したタイヤ摩耗粉塵の量は、車種別の走行距離にそれぞれの車種の単位距離当たりのタイヤ摩耗率及びタイヤ中のポリマー濃度を乗じ、都市別・道路別の走行台数・走行距離の割合で補正したうえで流出率をかけて算出したもので、実環境においてこれらの量が適当であるかの検証が求められる。

S-19-3(2)では、タイヤ摩耗粒子の発生量を現地にて把握した調査結果を Soyoung LEE ら(2022)⁵及び山本ら(2025)⁶が報告しており、その調査方法を以下に示す。

なお、道路以外を含めた市街地全域から流出するプラスチックごみの量については、環境省(2024)⁷が揚水機場等を集積したプラスチックごみの量と種類を調査し、そこから単位人口当たり及び単位面積当たりの流出量を算出しており、その調査方法及び算出法が参考となる。

(1) 概要

道路に堆積した塵埃を採取するなどし、これを室内分析に供する試料とする。

(2) 試料の入手

道路に堆積した塵埃及び雨水桝内堆積物を採取する又は高速道路にあつては路面清掃時に採取した道路粉塵を道路管理者から提供を受ける。また、提供を受けた試料を採取した路面清掃車の走行日時、経路及び距離並びに前回の路面清掃からの日数を聞き取る。

なお、インベントリの算出は、既往の研究で得られた懸濁物質（以下、「SS」という。）のインベントリに現地調査で得られた SS に占めるマイクロプラスチックの割合を乗じることで求める。上記の方法で採取された試料は、流出前の状態であり、流出過程で SS に占めるマイクロプラスチックの割合が変化することが考えられるため、降雨直後に調整池等に貯留された都市排水及び堆積物質を採取し、SS に占めるマイクロプラスチックの割合を確認することが望ましい。⁸

(3) 試料の前処理

採取した試料をステンレス製の多段篩で粒径別に分画する。篩は、メッシュサイズが上段から 50mm、5mm、0.3mm のものを重ね、50mm メッシュの残渣をマクロ粒子、5mm メッシュの残渣をメソ粒子、0.3mm メッシュをマイクロ粒子とする。

⁵ Soyoung LEE (2024), Characterization of Meso- and Microplastics in Highway Dust Collected by Road-sweeping Vehicles, 第 58 回日本水環境学会年会講演集, p. 345

⁶ 山本 可那子, イ ソヨン, 飛野 智宏, 中島 典之 (2025), マイクロプラスチックの雨天時流出挙動解析を目的とした路面及び雨水桝内堆積物の粒子特性評価, 水環境学会誌, 48, p. 89-103.

⁷ 環境省請負業務 (2024), 株式会社環境管理センター, 河川・湖沼におけるプラスチックごみの海洋への流出実態調査等業務 報告書, p. 2 - 88

⁸ 近日公表予定

メソ粒子とマイクロ粒子は、50℃で2日間程度乾燥させる。

マイクロ粒子はさらに2mmメッシュの篩で粒径が0.3～2mmのものと2～5mmのものの2つに画分し、0.3～2mm分画は、アルカリ性過酸化水素とセルラーゼにより天然有機物を分解した後に、飽和ヨウ化ナトリウム水溶液（NaI、1.6g/cm³）による比重分離を行い、2～5mm画分は密度分離のみを行って、プラスチック候補粒子を回収する。

3.2.2 水田

水田で散布された被覆性肥料のカプセルの一部は、マイクロプラスチックとして水田から流出する。

勝美ら(2022)⁹は、水田におけるマイクロカプセルの蓄積、変質及び流出量について実験農場及び実際の圃場にて調査し、滞留時間や流出時期とその規定要因を明らかにしている。また、水田から河川に流出したマイクロカプセルを調査し、輸送量の季節変化や河川流量との関係性を明らかにするとともに、用水路設備が海域への移行にあたる影響をモデル実験も加えて評価している。さらには海岸におけるマイクロカプセルの実態を把握し前述した情報を統合することで陸域から海域への移行プロセスを提示している。

S-19-3(2)においても、この被覆性肥料カプセルを主な対象とした流出量を把握するための調査が実施されており、須戸ら(2022)¹⁰、(2024)¹¹及び(2025)¹²が報告した調査をもとにその方法を示す。

(1) 概要

水田から流出する被覆性肥料カプセルを主な対象に、排水路等に採取用ネットを代かきの前から落水後まで設置し、流下する固形物を採取する。採取された固形物を一定の頻度で回収し、これを室内分析に供する試料とする。試料を採取するために必要な機材として主なものとしては、採取用ネット、流速計及び試料容器がある。

(2) 調査実施期間

一般的に、被覆性肥料カプセルは、入水、代かき及び移植といった稲作開始後に多く流出するが、その後もまとまった降雨があるごとに流出する。年間を通じた被覆性肥料カプセルの流出量を把握するためには、少なくとも入水、代かきの前から、落水後まで採取することが望ましい。

(3) 調査地点

調査地点は、そこに流下する排水の集水域が把握でき、その集水域に占める水田の面積の割合が高く、水田以外からのプラスチック排出源がほとんどない地点とする。

また、被覆性肥料カプセルは、風に流されて水田区画の風下側に収れんする傾向にあり、流出量は収れんする場所と水田区画の流水口及び排水口との位置関係において大きく異なる。このため、代表的な結果を得るために、上記の関係が多様な集水域を選定する又は必要に応じて複数の地点で調査することが望ましい。

この他採取地点の選定においては、増水時においても流されないよう採取ネットが固定できる場所であるか、また固形物質が水路断面でみて均等に分布して流下している場所であるかに留意する。

⁹ 勝美ら(2022), 農用地におけるマイクロプラスチックの発生と海域への移行に関する研究, 環境研究総合推進費 終了研究成果報告書, 1RF-2001

¹⁰ 伊藤鮎美, 雁瀬真七実, 長野緋音, 須戸幹 (2022), 水田排水路からの被覆性肥料カプセルの河川への流出, 第 56 回日本水環境学会年会講演集, p. 152

¹¹ 藤田昂志, 須戸幹 (2024), 圃場未整備地区の水田群からの被覆性肥料マイクロカプセルの流出, 第 58 回日本水環境学会年会講演集, p. 348

¹² 須戸幹, 岩間憲治 (2025), 水田圃場からの被覆性肥料カプセルの流量と流出特性, 水環境学会誌, Vol.48, pp.135-142

(4) 事前準備

水田及び水路等の現地の状況を予め確認し、適切な調査地点を選定する。

採取ネットを設置する水路等の管理者と、調査の目的、調査方法並びに調査結果の活用及び公表の方法に関して調整する。また、調査地域の農業協同組合及び調査地点近隣の水田等の所有者等に調査の目的及び内容等を周知するとともに、入水から落水までの概ねのスケジュールや被覆性肥料カプセルの種類及び使用状況について聞き取る。

試料採取の前日までに使用する全ての機材が正常な状態であるか確認し、入念に洗浄してから、プラスチック粒子の汚染が生じない状態で保管しておく。

(5) 試料の採取

一定の頻度でその都度、採取ネットを設置して試料を採取するとともに、採取時に採取ネット及び水路を通過するそれぞれの流量を観測する。また、流出水量の経時変化を求めるために、採取地点又はその近傍において水位を連続観測し、試料採取時に測定した流速と水位とから水位と流量との関係式を作成しておく。

1回あたりの採取時間は、20～120分間を目安に、採取ネットの網口の大きさ及び現地での流出状況を踏まえ、目詰まりの生じない範囲で長めの時間を設定する。また、水田からの被覆性肥料カプセルの流出は、入水、代かき及び移植時や、降雨時に多くなる。これらの時期は必要に応じて回収の頻度を多くする。

採取ネットが目詰まりすることで荷重がかかることを考慮し、流されないよう調査地点にしつかりと固定する。ただし、採取ネットの固定は予め水路管理者に了承された方法において行うこととし、水路構造物を破損させないように留意すること。また、採取ネットの撤去後に原状復帰が行えたことを確認するため、採取ネット設置前の状況を写真に撮影しておくこと。

採取ネットに固形物がたまると、それが抵抗となり、採取ネットで補足される固形物が少なくなり、さらには採取ネットの破損に至る場合もある。採取ネット設置後に、流速を網口の中心及び採取ネットを設置していない位置のそれぞれで測定し、両者に大きな違いが生じていないかを確認する。流速に大きな違いが生じている場合には、採取ネットの長さを長くするなどして抵抗を減らすことを検討すること。

1) 採取用ネット

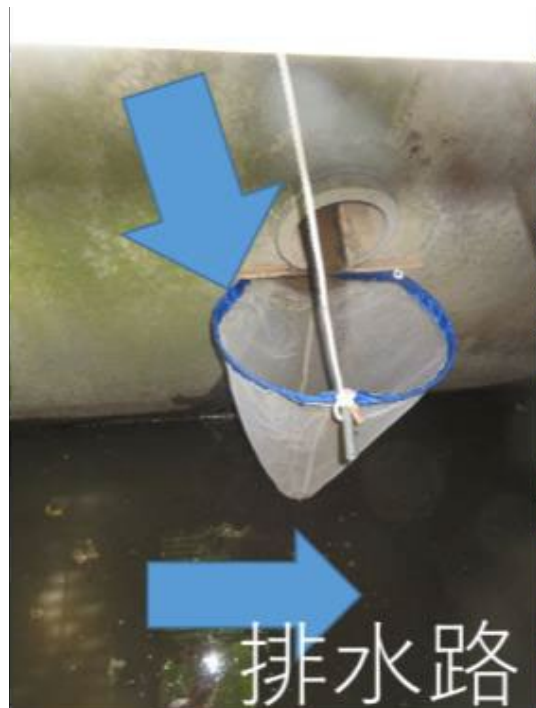
採取用ネットの例を、図 6 に示す。採取ネットは網地と網枠とで構成され、調査地点に杭などで固定する。

網地は、その調査目的に応じて適切な目開きを選定することとなるが、被覆性肥料カプセルを主な対象とする目的においては、目開きが 1mm 程度のものを用いる。網地の材質として、図 6 の例では、ナイロン製のものを用いている。

網枠は、網口の下端が水底に接し、網口の上端が増水時においても水面より上となり、網口の幅は水路幅に対して代表制を確保できる長さとする。また、採取ネットが目詰まりすると網口縁部に逆流が生じ、採取した被覆性肥料カプセル等が流出してしまうため、網長を長くする又は網口縁部を内側に返しておくなど、形状を工夫する。



排水路調査地点



排水口調査地点（パイプ径 20cm）

図 6 採取ネットの例

2) 固形物の回収

採取ネット内の固形物を全て使用容器に取り出す。入水してこれを行う場合には、採取ネットの下流側から近づくなど、コンタミが生じないように留意すること。

試料容器は、図 4 に示すような金属製又はガラス製などのプラスチック以外の材質のものをを用いることが望ましい。やむを得ずプラスチック製の容器を用いる場合には、極力新しいものを使用し、使用前に入念に洗浄し、さらに少量の汚染のない水で洗い流して、その水にプラスチック候補粒子が存在していないかを確認するとともに、試料容器の材質を FTIR 等で確認しておくこと。また、試料容器に試料番号、試料採取地点及び採取時刻を記載できるよう、ラベルを予め用意しておくこと。

3) 採取ネットの撤去

調査が終了後は、採取ネットを撤去し、その状況を写真撮影し、設置前の写真と比較して現状復帰が行えたことを確認する。また、水路等の管理者、農業協同組合及び調査地点近隣の水田等の所有者等に調査が終了したことを周知する。

4) 試料の保管、運搬

試料採取後は、速やかに試料容器のラベルに試料番号、試料採取地点及び採取時刻を記載し、運搬中の破損及び漏れを防止するため、適切な緩衝材で試料容器を保護して運搬用容器に入れる。運搬容器は、運搬中に試料の腐敗が進行してもプラスチック候補粒子が変化することはないが、実験室での試料の取扱いがより容易になるよう、氷冷したクーラーボックスを使用するとよい。

実験室へ搬入後は、直ちに室内分析の作業に着手するか、速やかに着手できない場合にあっては試料を冷蔵で保管する。

5) 現地での記録

試料採取ごとに、採取地点名、採取時刻、ろ水量及び試料番号を野帳に記録する。加えて、調査の目的から必要に応じて、採水した水路等の水温及び気温並びに現地で観測が可能な電気伝導度及び pH 等の水質を記録する。

また、後日に実施状況が確認できるよう、試料採取地点の遠景及び近景、周囲の水田での工作の状況、各試料採取工程での実施状況並びに採取した試料の状況を、写真として記録しておく。

なお、現地調査で得られた結果の代表性について、試料採取時に観測された集水域水田での農作業の状況及び近傍気象官署で観測された降雨量等から確認しておくこと。

3.2.3 畑地

畑地を含む農村集落から流出するプラスチックごみの調査は、河川を流下する量として把握することが可能である。河川を流下するプラスチックごみのうち、マイクロプラスチックは河川・湖沼ガイドラインに示された方法において調査することが可能である。また、出水時に河川を流下するマクロプラスチックの量を把握する方法は、Onoi et al. (2012)¹³、Minami et al. (2015)¹⁴及びKataoka et al. (2020)¹⁵がビデオカメラで撮影した映像から AI で解析する方法を提案している。ただし、これらの調査では、その量とおおよその種別を把握することは可能だが、それらが畑地由来であるかや、製品の具体的な種別までは分からない。

畑地を含む農村集落からは、マルチシート、肥料及び農薬の包装容器並びにその他農業資材などが、降雨時に流出することが想定される。プラスチックごみの流出量を削減させる方策を検討するためには、その流出量だけではなく、流出する製品などの性状を把握することが重要となる。

本マニュアルでは、横田ら(2023)¹⁶及び(2024)¹⁷並びに Chowdhury ら(2025)¹⁸が報告した調査をもとに、出水時に畑地を含む農村集落から流出するプラスチックごみの性状を把握する方法を示す。

(1) 概要

畑地を含む農村集落を流下する河川河岸において、出水後に漂着したプラスチックごみを採取し、その個数、質量、面積及び材質並びに製品の種別を記録する。

(2) 調査地点及び区画の選定

畑地、その周辺の集落及び流下する河川の概況を地図及び空中写真などから把握し、畑地お及びその周辺集落から出水時に流出するプラスチックごみが河岸に漂着することが想定される候補地点を複数選定する。

候補地点における漂着物の状況を現地にて確認し、より多く、多種のプラスチックごみが漂着している地点を選定する。なお、出水の状況を把握するため、調査地点は近傍に水位計が設置されている地点が望ましい。

選定した地点において、漂着物を採取する一定面積の区画を設定する。



図 7 調査区画の設定例

¹³ T. Onoi, Y. Nihei (2012), A new technique for evaluating floating-litter transport using temporal variation rate of water elevation. Proc. of 18th IAHR-APD Congress, 6p.

¹⁴ M. Minami, T. Onoi, Y. Nihei, T. Kataoka, H. Hinata (2015), An automatic and continuous monitoring system for floating-litter transport in river and its application to field survey in Mogami River. Proc. of the 36th IAHR World Congress, 8p.

¹⁵ T. Kataoka, Y. Nihei (2020), Quantification of floating riverine macro-debris transport using an image processing approach. Sci Rep 10, 2198. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59201-1>

¹⁶ 横田ら(2023), 畑地から流出するプラスチックに関する調査研究, 第 57 回日本水環境学会年会講演集, p. 460

¹⁷ 横田ら(2024), 広域に農地が広がる河川敷に漂着するマクロプラスチックに関する調査研究, 第 58 回日本水環境学会年会講演集, p. 411

¹⁸ Z. Chowdhury, K. Yokota, N. M. Ngoc, and T. Inoue (2025), Quantification of riverine macroplastics in a farmland area in Japan, Environmental Science and Pollution Research, 32, 6948-6958.

(3) 事前準備

調査区画を設定した河川等の管理者と、調査の目的、調査方法並びに調査結果の活用及び公表の方法に関して調整する。また、調査地域の農業協同組合等に調査の目的及び内容等を周知するとともに、畑地におけるプラスチック製品の使用状況について聞き取る。

流域の畑地等を踏査し、畑地及びその周辺の水路等に存在するプラスチック製品及びプラスチックごみの状況について把握する。

設定した区画に、漂着しているプラスチックごみがないか確認し、プラスチックごみがあれば区画から取り除く。

(4) 試料採取

畑地等からプラスチックごみが流出することが想定される規模の降雨や水位上昇があったら、降雨後、速やかに調査区画にて漂着物を採取する。

堆積物の量及び種類は、出水の規模、前回の出水からの晴天期間、時期などによって変化することから、年間を通じて流出するプラスチックごみの性状が把握できるよう、複数回の試料採取を行うことが望ましい。

(5) 記録

採取した試料は、その個数並びにそれぞれの重量、面積、材質、製品の種別（農業利用・非農業利用の別を含む）、劣化の状況を記録する。

記録後、採取した試料は適切に処分する。

4 室内分析の方法

マイクロプラスチックの分析方法は、原則、河川・湖沼ガイドライン及び ISO 24187, Principles for the analysis of microplastics present in the environment に示された方法により行うこととし、また、繊維状粒子を対象とする場合にあっては、繊維状マニュアルに示された方法により行うこととする。

本書では、点源で得られた試料ではプラスチック以外の有機物が多く含まれることから、その除去にフェントン反応を利用した酸化処理及び比重分離が行われる。面源で得られる試料では、植物片が多く含まれる試料を分析し、市街地から得られた試料ではタイヤゴム及び道路標識材が分析対象となる。これらの分析行程での留意点を紹介する。また、S-19-3 において実施したブラインド試験で得られた分析精度の低下要因とその対処方法を記載する。

(1) フェントン反応を利用した酸化処理

下水道終末処理場等で採取された試料は、河川で採取された試料と比較して、懸濁物質が多いことが特徴として挙げられる。

プラスチック以外の懸濁物質が多く含まれることで、プラスチック粒子の視認が困難となり、プラスチック候補粒子の分取で作業効率及び回収率が低下する恐れがある。

このため、過酸化水素 (H_2O_2) のみによる処理では試料中の有機物懸濁物質を十分に分解できない場合は、過酸化水素 (H_2O_2) に二価鉄 (Fe(II)) を加えたフェントン反応により有機物懸濁物質を分解する。

フェントン反応を用いた酸化処理の方法は以下に示すとおりである。なお、フェントン反応を用いた酸化処理を過度に分解する条件で行うと、プラスチック粒子をも侵してしまい、測定される粒子数及び粒径等に影響する恐れがある。フェントン処理を行うにあたっては、それに先立ち、以前に測定した試料で得られたプラスチック粒子など粒子数及び粒径等が既知の粒子を用いてその処理条件が適当であるかを確認しておくことが望ましい。

1) 概要

過酸化水素 (H_2O_2) に二価鉄 (Fe(II)) を加えた酸化反応（フェントン反応）で、プラスチック粒子の表面及びその他試料中の有機懸濁物質を分解する。これにより、プラスチック候補粒子が視認しやすくなり、プラスチック候補粒子の拾い出し作業の効率化及び精度向上が図られる。過酸化水素 (H_2O_2) だけを用いた酸化処理では、試料中の有機物懸濁物質を十分に分解できない場合に、フェントン反応を利用した酸化処理を行う。

2) 試薬、器具等

- ・乾燥機
- ・二価鉄硫酸水溶液
硫酸鉄(II)七水和物 ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 7.5g 及び濃硫酸 3mL を溶解後の水量が 500mL となるよう純水に溶解させることで調整する。
- ・30%過酸化水素
- ・ビーカー等のガラス容器
- ・時計皿
- ・ガラスシャーレ等のガラス容器
- ・冷却用のバット等

3) 手順

- ① 試料を入れたビーカー等のガラス容器に時計皿をかぶせ、乾燥機により 60℃以下で加熱し、乾固しない程度に水分を除去する（1 L 容のビーカーに入れる試料量は、50 mL 程度を目安とする。試料量が多い場合はビーカーの数を増やして試料を分割する）。乾燥は、以下の点に注意して行うこと。
 - ・プラスチックの変質を防止するため 60℃以下で乾燥すること。
 - ・乾固しない程度とは、試料が多い場合に、容器を傾けても湿潤試料が流動しない状態をいう。
 - ・乾燥が不十分で試料中の水分が多いと、酸化剤の濃度が低下し、有機物分解の効果が低減する。
- ② 乾燥後の試料に 30%過酸化水素 50mL 程度及び二価鉄硫酸水溶液 50mL 程度を加え、3 日程度静置することで有機物を分解する。
有機物の分解は、以下の点に注意して行うこと。
 - ・激しく反応し、沸騰することがある。沸騰により試料がビーカーから溢れる恐れがある場合は、蒸留水を追加し、反応を遅らせる。
 - ・反応による生成熱で、反応液が高温になる恐れがある。反応液の温度を確認し、温度に上昇がみられる場合は、氷水を張ったバット等の容器にビーカーを浸すことで冷却する。
- ③ 3 日程度の静置後、反応液中に未分解の有機懸濁物質が残存している場合は、30%過酸化水素 50mL 程度及び二価鉄硫酸水溶液 50mL 程度をさらに追加し、1 日程度静置する。
- ④ 有機懸濁物質が反応液に残存しなくなるまで、③を繰り返す。

なお、合流式の下水道終末処理場で降雨時に調査する場合に、粒径が概ね 1 mm 未満であるものの、面標示塗料が多く含まれる。路面標示塗料を測定するにあたり Kanako Yamamoto *et al.* (2025)¹⁹は、フェントン試薬を用いた分解法とセルロース分解酵素法を比較し、フェントン試薬を用いた分解法では、路面標示塗料に含有する炭酸カルシウムの溶出、粒子の分裂及びガラスビーズの除去により、路面標示塗料粒子の回収率が低下し、過小評価される傾向にあることから、セルロース分解酵素法による前処理が有効であることを報告している。

(2) 比重分離での留意点

河川・湖沼ガイドラインでは、比重分離として、5.3M ヨウ化ナトリウム溶液 (NaI, 1.6g/cm³) を用いてそれより比重が大きい懸濁物質を沈殿させることで試料から除去する方法が示されている。ただし、下水道終末処理場等で採取された懸濁物質が多い試料では、プラスチック候補粒子の一部が懸濁物質とともに沈殿してしまい、プラスチック候補粒子の回収率が低下することがある。また、比重分離後の蒸留水による洗浄が不十分で試料中にヨウ化ナトリウムが残留すると、同物質が空気中の水分を吸湿し、ATR-FTIR による同定が困難になる可能性がある。

懸濁物質が多い試料では、あらかじめ添加回収試験を実施するか、沈殿物にプラスチック候補

¹⁹ Kanako Yamamoto *et al.* (2025), Efficient pretreatment method for analyzing microplastics in urban road dust containing composite materials, *Water Environment Research*, Volume 97, Issue 2, p. 1-15

粒子が含まれていないかを同定するなどして、比重分離の工程でプラスチック候補粒子の回収率が低下しないことを確認したうえで比重分離を分析工程に加えることが望ましい。

(3) 植物片が多く含まれる試料を分析する際の留意点

農地で採取される資料には植物片が多く含まれる。また、ロードダストにおいても、タイヤゴムに由来するプラスチックの他に、道路脇の樹木に由来する植物片も含まれており、植物片がプラスチックと誤認され、プラスチックの過大評価を引き起こす可能性がある。

Soyoung LEE *et al.* (2023)²⁰は、試料から天然有機物を取り除くための前処理方法として、フェントン試薬を用いた分解法、アルカリ性過酸化水素分解法、セルロース分解酵素法を比較し、植物片がプラスチックと誤認される影響を考察している。その結果、アルカリ性過酸化水素分解法及びセルロース分解酵素法で前処理を行った試料では、植物片の一部が合成高分子と誤認された。一方で、セルロース分解酵素法で前処理を行った試料では、植物片の多くは天然高分子として認識された。Soyoung LEE *et al.* (2025)²¹ は、タイヤゴム粒子の測定において、フェントン試薬を用いた分解法では、セルロース分解酵素法と比べて粒子のサイズが縮小することに加えて、タイヤゴム以外の材質であると誤認されることが多くなり過小評価されることを考察している。

(4) タイヤゴムを分析する際の留意点

宮本ら (2023)²²らは、合流式の下水道終末処理場で降雨時に調査した結果、大量の黒色粒子が認められ、それらはタイヤ片である可能性が高いと報告している。

タイヤ片の大半は粒径が 1 mm 未満であることから、本マニュアルでは対象はしていない。ただし、タイヤ片を含めて調査をすることを否定するものではない。

Soyoung LEE *et al.* (2025)²³ は、タイヤゴム粒子の測定において、フェントン試薬を用いた分解法では、セルロース分解酵素法と比べて粒子のサイズが縮小することに加えて、タイヤゴム以外の材質であると誤認されることが多くなり過小評価されることがと、タイヤゴムを ATR-FTIR において同定する際に、デフォルトのライブラリではタイヤゴムと同定されにくく、タイヤゴムのライブラリを追加することで同定率が向上することを報告している。

また、SHIMADZU 社²⁴は、タイヤゴムを ATR-FTIR において同定する際に、ゲルマニウムプリズムで測定すると、ダイヤモンドプリズムと比べて、タイヤに含まれるカーボンブラックによって生ずるピークの歪みが低減し、同定しやすくなることを報告している。

²⁰ Soyoung LEE *et al.* (2023), Comparison of organic matter decomposition methods for pretreatment of microplastic analysis in road dust containing plant materials, 第 57 回日本水環境学会年会講演集, p. 295

²¹ Soyoung LEE *et al.* (2025), Comparison of cellulolytic enzyme treatment and Fenton oxidation for analysis of microplastics in tire rubber particles, Water Environment Research, Volume 97, Issue 3, p. 1-24

²² 宮本隆広, 中田晴彦 (2024), 降雨直後の合流式下水処理施設における下水中マイクロプラスチックの材料と濃度の経時変化, 第 58 回日本水環境学会年会講演集, p. 279

²³ Soyoung LEE *et al.* (2025), Comparison of cellulolytic enzyme treatment and Fenton oxidation for analysis of microplastics in tire rubber particles, Water Environment Research, Volume 97, Issue 3, p. 1-24

²⁴ SIMAZU, ゴム分析のテクニック -黒色ゴム-, <https://www.an.shimadzu.co.jp/service-support/technical-support/analysis-basics/ftir/fundamentals/method2/ftirtalk-letter11-rubber/index.html>

(5) 路面標示塗料を分析する際の留意点

Kanako Yamamoto *et al.* (2025)²⁵は、ロードダストの分析において、試料から天然有機物を取り除くための前処理方法として、フェントン試薬を用いた分解法とセルロース分解酵素法を比較し、フェントン試薬を用いた分解法では、路面標示塗料に含有する炭酸カルシウムの溶出、粒子の分裂及びガラスビーズの除去により、路面標示塗料粒子の回収率が低下し、過小評価される傾向にあることから、セルロース分解酵素法による前処理が有効であることを報告している。

(6) 分析精度の低下要因とその対処方法

人工的に作成したマイクロプラスチック粒子及び天然由来粒子等を一定量添加した試料を、その添加量を秘匿したまま S-19-3 に参加した研究機関に配布し、各研究機関がそれぞれ分析するブラインド試験を実施した。その結果から、マイクロプラスチックの分析において精度が低下する要因とその対処方法を次表に整理した。

²⁵ Kanako Yamamoto *et al.* (2025), Efficient pretreatment method for analyzing microplastics in urban road dust containing composite materials, *Water Environment Research*, Volume 97, Issue 2, p. 1-15

表 1 分析精度の低下要因とその対処方法

分析項目	分析精度の低下要因	対処方法
粒子の拾い出し（計数）	・特に粒径が 1mm 未満の回収率が低下し、天然粒子等が多い試料でその傾向が強くなる。 ・透明や白色などの視認しにくい粒子の回収率が低下する。	・粒径が 1mm の粒子についてはその精度が大きく低下することから、粒径が 1mm 以上 5mm 未満とは分けて結果を報告すべきである。 ・特に小さい粒子や色が視認しにくい粒子の損失を減らすため、ろ過する工程でフィルターへ残存する粒子がないか、粒子の拾い出しを行う工程で容器壁面や天然粒子等への付着がないかを入念に確認することが望ましい。 ・粒子の拾い出しを行う工程では、色調及び明度が異なる複数の背景色で拾い出し漏れがないか確認することが望ましい。
粒径の測定	・画像処理ソフトで出力された値から実際の粒径への換算で誤差が生じやすい。	・既知の長さのものを測定する又は一部の粒子についてノギス等で実施に長さを測定して比較するなど、画像解析ソフトから出力される値を実際の長さに変換する際に間違えがないか確認することが望ましい。
重量の測定	・水分や天然粒子等の付着により、実際のプラスチック粒子の重量より、高めに測定される傾向にある。	・重量の測定では、事前に洗浄及び乾燥を入念に行うことが望ましい。
材質の同定	・その外観から、光学機器で材質同定した他の粒子と同一であるとみなした粒子の一部が、同一とみなした粒子の材質と異なることがある。 ・試料に添加したホルマリンの影響で正しい材質を判定できない場合がある。	・材質の同定で同一と見なせる粒子の測定を省略することは、精度向上の観点からは極力避けることが望ましい。時間等の制約からやむを得ず測定を省略する場合であっても、同一と見なした粒子の複数を測定することが望ましい。 ・材質同定の精度向上のため、ホルマリンなど分光機器に妨害が生じる物質の添加は極力行わないことが望ましい。試料の保存などでやむを得ず添加する場合にあっては、粒子の洗浄を入念に行うとともに、添加物による妨害を踏まえて材質同定を行う。
色及び形状の分類	・特に半透明や白みがかかった色など報告する分類の中間的な色の粒子では、機関間で異なった分類となる。 ・形状の分類において、投影面の形状だけでは Film/Sheet と Fragment を判別できない。また、Fiber、Line、Stick、Pellet、Column といった分類は、投影面がいずれも長方形となる。このため、機関間で異なった分類となる。	・形状及び色の判定は、予め分類の定義を設けておくことが望ましい。 ・粒子の色について異なる機関で得られた結果を比較する場合には、白及び透明と有色とで、その中間にある粒子の分類で機関間での差異が生じていることを踏まえて行うべきである。 ・粒子の形状について異なる機関で得られた結果を比較する場合には、Fragment と Film/Sheet や、Fiber と Line、Stick、Pellet、Column など、投影面がそれぞれ同一となる粒子の判定において機関間での差異が生じていることを踏まえて行うべきである。
ブランク	・繊維状粒子のコンタミネーションが生じやすい。	・特に繊維状粒子を対象とする場合にあっては、室内ブランク試験を実施する。

5 報告

調査結果は、その後に他調査結果と比較及び関連情報を含めてた解析ができるよう、所定の様式にとりまとめておくことが望ましい。

面源を例に、マイクロプラスチックの調査結果としてとりまとめるべき報告事項を表 2 に示す。

表 2 マイクロプラスチックの調査結果としてとりまとめるべき報告事項（面源の例）

項目			報告例
調査対象	種別		下水道終末処理場
	名称		●●クリーンセンター
	位置		●●県●●市△△町 XXXXX
	排出先		●●川
	その他対象の概要		標準活性汚泥法、一部は A2O 法による処理
試料採取	対象		●●幹線流入污水
	位置	緯度・経度	N XX.XXXXX, E XXX.XXXX
	採水	採取日	2022 年 XX 月 XX 日
		開始時刻	hh:mm
		終了時刻	hh:mm
		採水方法	バケツによる汲み上げ
	ろ水	ろ水量 (L)	5.2
		ろ過ネットの目開き (μm)	300
	試料番号		XXXXXX
	現地観測	天候	晴れ
		気温 (°C)	15.3
		採水温 (°C)	16.7
		その他の記録	EC: XXXX mS/m、・・・
	現地ブランク試験	実施の有無	有
		結果 (particles/試験)	X
室内分析	試料分割	試料分割の有無	有
		分割数	4
	生物学的又は化学的処理	実施の有無	実施
		使用試薬名、濃度	H ₂ O ₂ :30%、Fe(II):3g/L
		反応時間 (h)	96
		反応温度 (°C)	50
	比重分離	実施の有無	実施
		使用試薬名、濃度	NaI、5.3M
		静置時間 (h)	24
	材質同定	種別、使用機器名	FT-IR、BRUKER ALPHA II
	重量測定	最小測定単位、使用機器名	0.1mg、OHAUS PX224JP
	室内ブランク試験	実施の有無	有
		結果 (particles/試験)	X
調査結果	粒子数 (particles)	粒径 1mm 未満	23
		粒径 1mm 未満以上 5mm 未満	74
		粒径 5mm 以上	6
	粒子数密度 (particles/m ³)	粒径 1mm 未満	4,423
		粒径 1mm 未満以上 5mm 未満	14,231
		粒径 5mm 以上	1,154
	粒子重量 (mg)	粒径 1mm 未満	0.9
		粒径 1mm 未満以上 5mm 未満	6.8
		粒径 5mm 以上	32.4
	粒子重量密度 (g/m ³)	粒径 1mm 未満	0.17
		粒径 1mm 未満以上 5mm 未満	1.3
		粒径 5mm 以上	6.2
	材質別の粒子数割合	粒径 1mm 未満	PP:39%、PE:26%、PET:・・・
		粒径 1mm 未満以上 5mm 未満	PP:41%、PE:24%、PET:・・・
		粒径 5mm 以上	PP:33%、PE:17%、PET:・・・
	形状分類別の粒子数割合	粒径 1mm 未満	破片:52%、フィルム:13%、・・・
		粒径 1mm 未満以上 5mm 未満	破片:47%、フィルム:29%、・・・
		粒径 5mm 以上	破片:17%、フィルム:50%、・・・
	色別の粒子数割合	粒径 1mm 未満	透明:17%、白:13%、赤:・・・
		粒径 1mm 未満以上 5mm 未満	透明:23%、白:39%、赤:・・・
		粒径 5mm 以上	透明:17%、白:17%、赤:・・・

6 排出インベントリの算出方法の概要

点源から排出されるマイクロプラスチックの排出インベントリは、原則として、調査によって得られる放流水中のマイクロプラスチックの重量密度 (g/m^3) に、排水量 (m^3/year) を乗じることで算出する。

6.1 点源

(1) 放流水のマイクロプラスチック密度

点源からの放流水のマイクロプラスチック密度は、現地調査で得られたマイクロプラスチックの重量密度又は類似する処理施設等で得られたマイクロプラスチックの密度とする。マイクロプラスチック S-19-3(1)で晴天時に現地調査を実施した下水道終末処理場のマイクロプラスチックの粒子密度及び原単位は表 3 に、廃棄物処理施設のマイクロプラスチックの粒子密度及び原単位は表 4 に示すとおりである。

なお、現地調査では、マイクロプラスチックの粒子重量を測定せず、粒子数密度しか求めている場合には、表 3 及び表 4 など既往の調査で下水処理場から排出されるマイクロプラスチックの粒子数密度と粒子重量密度の両方が得られている結果から、1 粒子当たりの粒子重量を算出し、これを現地調査で得られた粒子数密度に乗じることで重量密度に換算する。

表 3 S-19-3(1)で得られた下水道終末処理場のマイクロプラスチックの粒子密度及び原単位

番号	処理方式	砂ろ過	高度処理	放流密度		放流原単位	
				particles/ m^3	mg/m^3	particles/日/人	$\text{mg}/\text{日}/\text{人}$
1	標準活性汚泥法	○	○	0.2	0.3	0.06	0.10
2		○		2.9	0.2	1.11	0.08
3			○	8.4	1.0	4.10	0.50
4				6.9	0.4	2.43	0.13
5	オキシデーション ディッチ法	○	○	1.2	0.02	0.57	0.01
6			○	11.7	0.6	3.57	0.23
7	嫌気無酸素好気法	○	○	0.2	0.01	0.11	0.01
8			○	20.4	1.1	4.80	0.25
9	循環式硝化脱窒法	○	○	2.7	0.5	1.14	0.20
10	ステップ流入式	○	○	2.7	0.5	1.14	0.20
11	多段硝化脱窒法		○	0.1	0.03	0.12	0.02
12	嫌気好気活性汚泥法	○	○	0.6	0.6	0.42	0.45

注 1：マイクロプラスチックの長軸径が 1mm 以上 5mm 未満の粒子を集計の対象としている。

注 2：表中の値は晴天時の調査結果に基づくものである。

出典：環境研究総合推進費 中間研究成果報告書、S-19-3 陸域からの排出インベントリ作成と流出抑制技術開発 (JPMEERF21S11930)、研究代表機関 京都大学、令和 5 年 7 月

表 4 S-19-3(1)で得られた廃棄物処理施設のマイクロプラスチックの粒子密度及び原単位

番号	廃棄物処理施設の種別	処理水密度		排出原単位	
		particles/ m^3	mg/m^3	particles/t-ごみ	$\text{mg}/\text{t}-\text{ごみ}$
1	都市ごみ焼却施設 (湿式スクラバ有り)	0~1.45	0~6.29	0~1.05	0~4.57
2	都市ごみ焼却施設 (湿式スクラバ無し)			0~0.553	0~2.40
3	管理型埋立処分場	0~0.033	0~0.0129	0~0.00825	0~0.00324

注：マイクロプラスチックの長軸径が 1mm 以上 5mm 未満の粒子を集計の対象としている。

出典：大下和徹らが S-19-3(1)で実施した調査結果から集計 (未発表資料)

(2) 点源からの年間の排水量

下水道終末処理場からの排水量は、各下水道終末処理場毎に取得されている年間処理水量を用いる。この年間処理水量は、「下水道統計」（公益社団法人日本下水道協会）に掲載され公表されている。

浄化槽からの排水量は、浄化槽処理人口に一人当たりの排水量を乗じることで算出する。浄化槽処理人口は、浄化槽の市町村別普及率が環境省から年度毎に公表されており、これに市町村別の人口を乗じることで求めることができる。

廃棄物処理施設からの排水量は、施設管理者からの聞き取りによりその量を把握する。なお、水質汚濁防止法の特定施設に該当する施設では、水質測定記録を3年間保存することが義務付けられており、水質測定記録表には排水量も記録されている。

(3) 合流式下水道の処理区域におけるインベントリの考え方

合流式下水道の処理区域では、下水と面源のインベントリを合わせて、排出は降雨の状況から以下の3つの段階に分けて考える必要がある。

1) 晴天時

主として、下水道に接続された施設由来のプラスチックごみが、下水道終末処理場に流入し、処理されることで大半が除去され、河川又は海域へと排出される。

ことのときの排出量は、晴天時の放流水中のマイクロプラスチックの重量密度に、排水量を乗じることで算出できる。

2) 下水道終末処理場の貯留能力を下回る小降雨又は降雨初期時

下水道に接続された施設由来のプラスチックごみ及び面源から雨水とともに流され下水道管に流入したプラスチックごみが、処理されることで大半が除去され、河川又は海域へ排出される。

ことのときの下水道終末処理場から排出量は、放流水中のマイクロプラスチックの重量密度に、排水量を乗じることで算出できる。

ただし、下水を介さない雨水で面源から洗い流されたプラスチックごみが河川又は海域へ直接排出される量は別に求める必要がある。

3) 下水道終末処理場の貯留能力を上回る降雨時

下水道に接続された施設由来のプラスチックごみ及び面源から雨水とともに流されたプラスチックごみの大半が環境中へと排出される。

ことのときの下水道終末処理場からの排出量は、放流水中のマイクロプラスチックの重量密度に、排水量を乗じることで算出できる。ただし、放流水中のマイクロプラスチックの重量密度及び排水量は降雨量に応じて経時変化することから、マイクロプラスチックの重量密度の経時変化を把握するための調査と、下水道終末処理場で測定されている簡易処理のみで放流した水量の経時変化に関するデータを入手する必要がある。

また、2)と同様に下水を介さない雨水で面源から洗い流されたプラスチックごみが河川又は海域へ直接排出される量は別に求める必要がある。

6.2 面源

6.2.1 市街地

市街地から排出されるマイクロプラスチックの量は、排出される SS の量と一定の相関性があると仮定し、既往の研究で得られる SS の排出量に現地調査で得られた SS に占めるマイクロプラスチックの割合 ($r_{MP/SS}$) を乗じることで求める²⁶。

$$U_{UA-MP} = U_{UA-SS} \times r_{MP/SS}$$

ここで、 U_{UA-MP} ：市街地から流出するマイクロプラスチックの原単位 (g/km²)

U_{UA-SS} ：市街地から流出する SS の原単位 (g/km²)

$r_{MP/SS}$ ：現地調査で得られた SS に占めるマイクロプラスチックの重量割合

市街地から流出する SS の原単位、次式で求める。

$$U_{UA-SS} = EMC_{SS} \times RR \times 1,000 \text{ mg/g}$$

ここで、 EMC_{SS} ：市街地からの排水中の SS 濃度 (mg/L)

RR_{UA} ：単位面積当たりの市街地からの排水中量 (L/km²/year)

EMC_{SS} は、尾崎らが既往の調査結果から平均値が 55.0mg/L で、CV 値が 100% (データ数 83) であったと報告している²⁷。

RR は、年間降水量に流出計数を乗じることで算出し、流出計数は 0.8 とすることが一般的である。

なお、SS に占めるマイクロプラスチックの重量割合 ($r_{MP/SS}$) は、路面などに堆積しているときの割合と、雨水とともに流出するときの割合とでは比重や粒径分布の違いなどにより変化することが考えられ、より精緻な排出原単位が必要とされる場合に会っては、複数の降雨流出水を対象に調査を実施して求めることが望ましい。

6.2.2 水田

水田から流出する被覆性カプセル等のプラスチックごみの原単位 U_{RF} (particles/km²/year 又は g/km²/year) は、調査地点を流下するプラスチックごみの量 Q_{RF} (g/year) を集水域内の水田面積 A_{RF} (km²) で除すことにより算出する。

$$U_{RF} = Q_{RF} / A_{RF}$$

ここで、 U_{RF} ：水田から流出するプラスチックごみの原単位 (particles/km²/year 又は g/km²/year)

Q_{RF} ：調査地点を流下するプラスチックごみの量 (particles/year 又は g/year)

A_{RF} ：集水域内の水田面積 (km²)

調査地点を流下するプラスチックごみの量 (Q_{RF}) は、都度の現地調査で得られたプラスチックごみの採取量及び採取時間、並びに採取ネット断面及び水路それぞれの流出水量から 1 時間あたりの流出量に換算したもの (q_{ii}) に、都度の調査が代表する時間に乗じたもの (q_i) を積算して推計する。

²⁶ 中島ら(2024), 市街地面源由来マイクロプラスチックの排出負荷量の推定, 第 27 回日本水環境学会シンポジウム講演集

²⁷ 尾崎ら(2017), 公表調査データの統計解析による市街地ノンポイント汚濁負荷流出量の予測とその信頼性評価, 水環境学会誌 44(3), p. 115-124

$$Q_{RF} = \sum_{year} q_i$$

$$q_i = q_{ti} \cdot (t_{i+1} - t_{i-1}) / 2$$

ここで、 q_i : 都度調査が代表する調査期間の流出量 (particles 又は g)

q_{ti} : 都度調査の 1 時間あたりの流出量 (particles/hour 又は g/hour)

t_i : 都度の調査日時 (hour)

6.2.3 畑地

畑地から流出するプラスチックごみの原単位 U_{FL} (particles/km²/year 又は g/km²/year) は、畑地が流域の多く占める河川で得られたプラスチックごみの流下量 Q_{FL} (g/year) を集水域内の畑地面積 A_{FL} (km²) で除すことにより算出する。

$$U_{FL} = Q_{FL} / A_{FL}$$

ここで、 U_{FL} : 畑地から流出するプラスチックごみの原単位 (particles/km²/year 又は g/km²/year)

Q_{FL} : 畑地が流域の多く占める河川で得られたプラスチックごみの量 (particles/year 又は g/year)

A_{FL} : 集水域内の畑地面積 (km²)

プラスチックごみの流下量 Q_{FL} (g/year) は、河川水中のプラスチックごみ密度 D_{FL} (particles/m² 又は g/m²) と河川流量 Q_{RW} (m³/s) とから、年間値として集計する。集計に当たっては、河川流量の増減や畑作の状況に応じてプラスチック密度が変動することに留意し、河川流量 (m³/s) 及び畑作の状況に応じて適切なプラスチック密度を乗じること。

また、出水時に畑地を含む農村集落から流出するプラスチックごみの性状を把握するための調査において、畑地以外から流出したと推定されるプラスチックごみが全体のごみの量に対して無視できない量である場合には、その割合でプラスチックごみの流下量 Q_{FL} を補正する。

$$Q_{FL} = \int_{年間} D_{FL} \cdot F_{FL} \cdot Q_{RE} \cdot dt$$

ここで、 D_{FL} : 畑地が流域の多く占める河川のプラスチックごみ密度 D_{FL} (particles/m² 又は g/m²)

F_{FL} : 河川を流下するプラスチックごみ中の畑地由来の割合 (-)

Q_{RE} : 調査地点を流下する河川水量 (m³/s)

7 おわりに

本書は、マイクロプラスチックの排出インベントリ作成に資するための現地調査方法をマニュアルとしてとりまとめたものである。本書が活用され現地調査が行われることでより精緻なインベントリが作成され、それらを踏まえて地域の排出状況に応じたより有効なプラスチック排出量の削減対策が行われることが期待される。

一方で、プラスチックごみのインベントリで、事業場から公共用水域へ直接排出されるものはその実態が把握されておらず、排出量の多くを占めていると推計されるタイヤ摩耗粉塵については、その流出量を正しく見積もるためには本書で示した方法で採取される粒子より微細なものを含めた調査が必要と考えられ、その方面での研究の進捗が待たれるところである。また、水田や畑地においても、営農方法及び出水の状況などによってプラスチックごみの流出量は大きく変化することが想定されることから、それらに関する知見が蓄積され、インベントリの精緻化が進むことが望まれる。